

دستوارگی جهان

راجر.ا. هگستروم و دیلیپ. ک. کوندپودی •

از اتمها تا انسانها، طبیعت در ارتباط با دستوارگی یا کایرالیته بی تقارن است، چپگرد یا راستگرد. شواهدی در حال پدیدار شدن است که دستوارگی را در سطوح مختلف به هم مربوط می نماید.

پاستور بر مبنای نظریهٔ مولکولی خودش چنین استدلال کرد که محلول اصلی به دلیل داشتن تعداد مساوی از مولکولهای راستگرد و چپگرد غیر فعال نوری بوده است. قارچها به طریقی شیمیایی تنها با يك نوع از آنها واکنش نشان داده اند و محلول را با مقدار نسبتاً زیاد از نوع دیگر رها ساخته اند. عدم توازن، محلول را از لحاظ نوری فعال ساخت.

بدین ترتیب پاستور دریافت که شیمی حیات يك نوع کایرالیته یا دستوارگی ترجیحی دارد. او بدانجا رسید که کایرالیته را یکی از آشکارترین تمایزات بین ماده زنده و بی جان دانسته و نهایتاً اعلام داشت که این پدیده واقعی ریشه‌ای در طبیعت می باشد که فراتر از شیمی حیات است. پاستور نوشت «حیات آن گونه که بر ما پدیدار گشته است عملکرد بی تقارن جهان و پیامد این واقعیت است». بعدها او در برابر فرهنگستان علوم فرانسه این گمان شگرف را ارائه داد که «جهان بی تقارن است *L'univers est dissymetrique*».

گمان پاستور تا بدان حد درست از آب درآمد که هیچ کس حتی خودش هم تصور آن را نمی کرد. علم جدید آشکار ساخته است که تقارن آئینه‌ای در طبیعت اغلب معوم می شود؛ جهان در تمام سطوح بی تقارن است، از سطوح زیر اتمی تا ابعاد بزرگ. پرسشهای زیادی در مورد اینکه این بی تقارنی چگونه به وجود می آید بی پاسخ می ماند، لیکن در چند دهه گذشته دریافت‌هایی کسب شده است که نشان می دهد چگونه کایرالیته در ك سطح باعث به وجود آمدن کایرالیته در سطح دیگر می شود. برای توصیف آنچه شناخته شده و آنچه شناخته نشده است، بهتر است مطلب را از مسائل روزمره شروع کنیم.

بی تقارنی کایرال

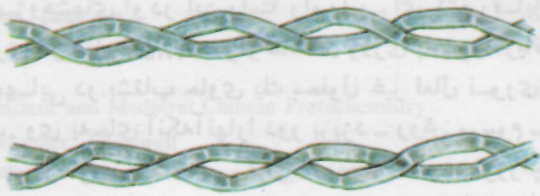
بسیاری از اشیایی که در طبیعت یافت می شوند با تصاویر آئینه‌ای خود یکسان نیستند و بنابراین می شود که دارای خاصیت

در سال ۱۹۲۸ لویی پاستور در حین آزمایش نوعی نمک تارتاریک اسید در زیر میکروسکوپ متوجه گردید که دو نوع بلور تشکیل شده است و هر کدام تصویر آئینه‌ای دیگری است. او این دو را از هم جدا نمود، هر کدام را در آب حل کرد و دو محلول به دست آورد و پرتو نوری را بر هر کدام از آنها تاباند. او با کمال تعجب دریافت که يك محلول نور قطبیده را در جهت عقربه ساعت می چرخاند و دیگری در جهت خلاف آن.

این کشف زیبا در ۲۵ سالگی لویی پاستور را به گسترش نظریه ساختار مولکولی کشاند. در آن موقع اطلاعات کمی در مورد ساختار ماده در چنان مقیاس کوچکی وجود داشت. پاستور چنین اندیشید که دوشکل کاملاً متفاوت بلورهای نمک و توانایی آنها در چرخاندن متفاوت نور از این حقیقت ناشی می شود که مولکولهای سازنده نمک خود از دو نوع متفاوت بسودند، یکی «راستگرد» و دیگری «چپگرد».

پژوهشهای او در این راستا راه را برای کشف قابل توجه دیگری در سال ۱۸۵۷ هموار ساخت. روزی پاستور دریافت که قارچهایی در بشقاب حاوی يك محلول غیر فعال نوری روییده است. وی به جای آنکه آنها را دور بریزد - روش مرسوم - آنها را در معرض نور مورد بررسی قرارداد. محلول آلوده نور را چرخاند. موجودات ریز محلول غیر فعال را تبدیل به محلول فعال نوری کردند.

• راجر.ا. هگستروم و دیلیپ. ک. کوندپودی در بخش شیمی دانشگاه ویک فورست کار می کنند. هگستروم درجه کارشناسی خود را از کالج سنت اللف در سال ۱۹۶۳ گرفت و دکترای خود را از دانشگاه هاروارد در سال ۱۹۶۸. پژوهشهای نظری او بر تأثیرات الکترومغناطیس و برهم کنشهای ضعیف در اتمها و مولکولها متمرکز بوده است. کوندپودی درجه کارشناسی خود را از دانشگاه مدرس در سال ۱۹۷۱ دریافت کرد و کارشناسی ارشد را از مؤسسه فنی هند (IIT) در بمبئی به سال ۱۹۷۳. او دکترای خود را از مرکز مکانیک آماری در دانشگاه تگزاس در اوستین به سال ۱۹۷۹ دریافت کرد. علاقه اش به منشأ نظم و پیچیدگی او را به گردشی در علوم مختلف فیزیک، شیمی و زیست شناسی واداشته است.



کایرالیته یا دستوارگی می‌باشند. برای تشخیص دوشکل اغلب به نام راستگرد یا چپگرد خوانده می‌شوند. در مورد اشیای کایرال آشنا - دست و پیچ - معنای راستگرد و چپگرد واضح است، اما برای اشیایی مثل درخت نارون با شاخه‌های بسیار و اصولاً برای اشیای نامنظم این کار کاملاً قراردادی است. وقتی اشیای ساده خاصی مثل کره‌ها یا مثلثها درآینه انعکاس می‌یابند تصویر حاصله از شیء اصلی قابل تشخیص نیست. اشیایی که با تصویر آینه‌ای‌شان یکسان باشند ناکایرال یا نادرستوار خوانده می‌شوند (شکل ۱).

نه تنها اشیاء که فرایندها مثل واکنشهای شیمیایی نیز ممکن است کایرالیته از خود نشان دهند. مثلاً واکنشهای اتمی و هسته‌ای خاصی تمایل ترجیحی به راست یا چپ دارند. اگر تمام فرایندها به لحاظ کایرالیته متقارن بودند، در جهان واقعی می‌توانستیم تعداد مساوی از سیستمهای تصاویر آینه‌ای بینیم که رجحان مخالفی از خود نشان می‌دادند. اینکه چنین چیزی را نمی‌بینیم دلیلی بر این مطلب است که بعضی فرایندها در طبیعت نامتقارن اند. اگرچه یک شیء کایرال و تصویر آینه‌ای آن آشکارا متفاوت اند، لیکن هیچ دلیل بدیهی وجود ندارد که یکی بردیگری برتری داشته باشد. لیکن در جهان واقعی ترجیحی از یک نوع کایرالیته بردیگری وجود دارد. این موضوع در موجودات زنده به صورت برجسته‌ای دیده می‌شود. مثلاً انسانها از لحاظ ساختاری کایرال می‌باشند: قلب در سمت چپ مرکز، و کبد در سمت راست قرار دارد. مردم اغلب کایرالیته عملکردی از خود نشان می‌دهند. مثلاً اگرچه هیچ امتیاز غریزی آشکاری برای دست راست یا چپ وجود ندارد افراد کمی وجود دارند که از هر دو دست یکسان بتوانند استفاده نمایند. چرا افراد به طور کلی یک دست را بر دست دیگر ترجیح می‌دهند؟ دلایل متعددی می‌توان ارائه داد، لیکن پاسخ صحیح احتمالاً هنوز معلوم نشده است.

گیریم که انسانها به طور کلی همزمان راست دست و چپ دست نیستند، پرسش بعدی آن است که چرا اغلب مردم راست دست اند؟ تسلط راست دستی بر چپ دستی امری کلی و مستقل از نژاد و فرهنگ است. اگر اغلب مردم چپ دست می‌بودند هیچ ضرر آشکاری پدیدار نمی‌گشت «تعداد زیاد راست دستی به نظر می‌رسد که تصادفی باشد». ممکن است پرسیده شود چرا افراد راست دست و چپ دست به تعداد مساوی به دنیا نمی‌آیند. پاسخ، با قطعیت روشن نیست. گرچه ارثی بودن یا نبودن این مسئله قابل بحث می‌باشد. زمانی که راست دستی، به هر دلیلی، تسلط یافت به همان صورت باقی می‌ماند.

مثالهای کمتر برجسته‌ای از بی تقارنی کایرال در ارگانیسرها وجود دارد. صدفهای مارپیچ یا همانند یک پیچ راستگرد پیچ می‌خورند یا همانند پیچ چپگرد. صدفهای راستگرد در دو طرف خط استوا تسلط دارند. در میان این حیوانات که اغلب راستگردند، تعدادی چپگرد نیز بر اثر جهش به وجود آمده‌اند که بسته به نوع آن دارای فراوانی در حدود یک درصد یا یک در میلیون هستند. قانون «دست راست» عمومی نیست. انواع خاصی مثلاً کرم شبتاب موائل اقیانوس اطلس به طور مسلط چپگرد می‌باشند. در موارد نادری گونه‌های راست و چپ به تعداد مساوی وجود دارند. حلزون درختی کوبایی از آن جمله است.

شکل ۱. کایرالیته ترجیحی رفتار مشترک موجودات زنده است. همانند اغلب گیاهان پیچیده پیچ امین الدوله شیپوری (الف) به چپ می‌پیچد نیلوفرها (ب) به راست می‌پیچند. حلزونها مثل لیگوس ویرجینیوس به طور کلی راستگردند اما در نمونه‌هایی انواع چپگرد به دلیل جهش پدید آمده است. باکتری باسیلوس سوبتیلیس (د) معمولاً تجمعهای مارپیچ راستگرد به وجود می‌آورد و وقتی حرارت داده می‌شود چپگرد می‌شود. آنها و مولکولها نیز نسبت به راست و چپ بی تقارن اند اما این مطلب هنوز به طور دقیق با کایرالیته موجودات زنده مرتبط نشده است.

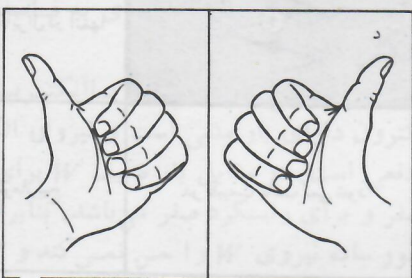
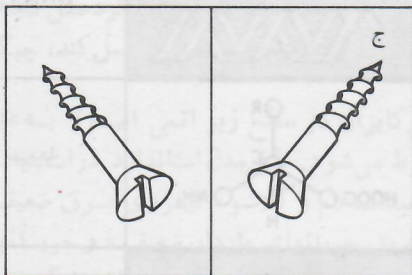
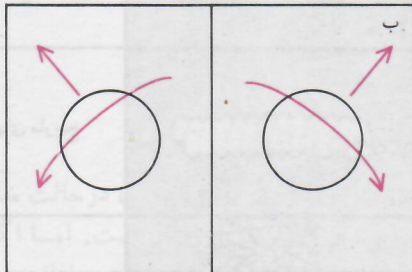
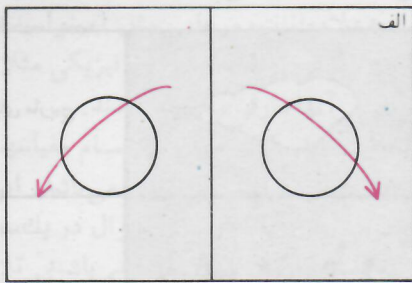
بمانند حیوانات اغلب انواع گیاهان نیز رجحان کایرالیته از خود نشان می‌دهند. نیلوفر بمانند یک مارپیچ راستگرد می‌چرخد درحالی‌که پیچ امین‌الدوله مارپیچی چپگرد است. ساختار مارپیچی در ارگانیسرها همچنین در مقیاس کوچکتر با کتریها دیده می‌شود. مندلسون و همکارانش در دانشگاه آریزونا با کتری باسیلوس-موبتیلیس را مورد بررسی قرار داده‌اند. این باکتری معمولاً مجموعه‌های مارپیچ راستگرد به وجود می‌آورند نکته قابل توجه اینکه با افزایش دما این مارپیچ چپگرد می‌شود (شکلهای ۳۰۲).

کایرالیته در مولکولها

همان گونه که پاستور دریافته بود، مولکولها نیز می‌توانند کایرال باشند. شیمیدانها مولکولهای تصویر آینه‌ای به نام آنانتیومرهای L و آنانتیومرهای D می‌شناسند که L و D به ترتیب مخفف levo به معنی چپ و dextro به معنی راست می‌باشد. این اصطلاحات یادگار مطالعات پاستور در مورد چرخش نور است. شکلهای آنانتیومری در بسیاری از مواد آلی و معدنی و اصولاً در تمام مولکولهایی که برای تکامل حیات ضروری می‌باشند، یافت می‌گردد. به طور مشخص پروتئینها که سازنده ساختار و تنظیم کننده شیمیایی سلولهای زنده می‌باشند و DNA مولکولی که اطلاعات ژنتیکی را منتقل می‌سازد. یک مولکول پروتئین، بسیاری است با زنجیری طولانی از مولکولهای کوچکتر (آمینواسیدها). هر چند صدها آمینواسید وجود دارد، لیکن همه پروتئینها از همان ۲۰ آمینواسید ساخته شده‌اند. تمام آمینواسیدها بجز گلیسین کایرال می‌باشند و دارای آنانتیومرهای L و D هستند. پروتئینها در کمال تعجب عمدتاً از آمینواسیدهای L ساخته شده‌اند (در موارد نادر و رشته‌های کوتاه آمینواسید- پلی پپتیدها- که دارای آمینواسید D می‌باشند نقش زیستی خاصی را ایفا می‌نمایند).

عملکرد اصلی پروتئینهای خاصی به نام آنزیم، تسهیل بخشیدن و کاتالیز واکنشهای زیست مولکولی از جمله سنتز سایر پروتئینهاست. توانایی کاتالیزوری آنزیمها به طور اساسی به ساختار سه بعدی آنها وابسته است. ساختار سه بعدی نیز به نوبه خود به ترتیب آمینواسیدهای L بستگی دارد. زنجیرهای سنتزی آمینواسیدها که از آنانتیومرهای L و D تشکیل شده‌است به طریقی که برای فعالیت کاتالیزوری مؤثر لازم است هیچ نمی‌خورند: آنها نمی‌توانند ساختار پیچیده منظمی را که مارپیچ آلفا خوانده می‌شود و در بیشتر آنزیمها وجود دارد بسازند.

شیمی انسان، به دلیل کایرالیته مولکولهای کلیدیش به شدت نسبت به تفاوتهای آنانتیومری حساس است. نمونه شدید این قضیه در سال ۱۹۶۳ پدیدار گشت، وقتی که نواقص بدنی وحشتناکی بر اثر مصرف قرص تالیدومید در نوزادان به وجود آمد. این نواقص بدین علت بود: در حالی که یک آنانتیومر از این ترکیب کایرال و یار زنان حامله را شفا می‌بخشید، آنانتیومر دیگر سبب نقص در نوزادان می‌شد. امروزه صنعت داروسازی توجه زیادی به جداسازی آنانتیومرها می‌نماید. مورد کم خطرتر حساسیت آنانتیومری در لیمونین دیده می‌شود، ترکیبی که در لیمو، پرتقال و عطرها یافت می‌گردد. در اینجا تفاوت را می‌توان استنشاق کرد، یک آنانتیومر بوی لیمو می‌دهد و آنانتیومر دیگر بوی پرتقال.

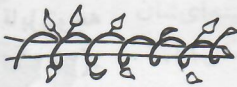
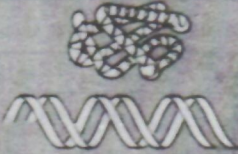
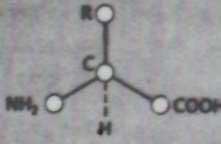
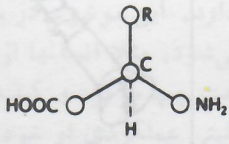
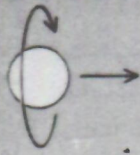


شکل ۲. کایرالیته خود را در اختلاف بین راست و چپ نشان می‌دهد. اشیایی که نمی‌توانند بر تصویر آینه‌ای خود منطبق شوند کایرال خوانده می‌شوند. یک کره ثابت با تصویر آینه‌ایش یکسان است و بنابراین گفته می‌شود ناکایرال است، حتی اگر کره در حال چرخش باشد (الف) تصویر آینه‌ایش می‌تواند با سروه کردن برشی اصلی منطبق شود. بنابراین کره در حال چرخش نیز ناکایرال است. اگر کره‌ای در امتداد محور چرخش خود حرکت کند (ب) تصویر آینه‌ای نمی‌تواند برشی اصلی منطبق شود و شی کایرال می‌گردد. طبق قرار داد اگر شی چرخانی همانند یک پیچ راستگرد عمل نماید، راستگرد و اگر همانند پیچ چپگرد عمل کند چپگرد خوانده می‌شود (ج). جهت چرخش با «قانون دست راست» تعریف می‌شود. بسته شدن انگشتان جهت گردش را نشان می‌دهد و انگشت شست جهت محور چرخش را (د). دستها و پیچها اشیای کایرال هستند و بر تصاویر آینه‌ای خودشان نمی‌توانند منطبق شوند.

همانند پروتئینها، نوکلئیک اسیدهای DNA و RNA بسیاری هستند که در طبیعت تنها با یک نوع کایرالیته وجود دارند. هر کدام از چهار زیرواحد تشکیل شده و هر یک از آنها یک گروه قند کایرال



لب گیاهان
(به راست
نمونه‌هایی
(د) معمولاً
نود چپگرد
لب هنوز به

		صدفهای مارپیچ
		گیاهان پیچنده
		باکتریهای مارپیچ
در طبیعت بسیار نادرند		پروتئین و DNA
		آمینواسیدها
در طبیعت یافت نمی شوند		جریانهای کایرال در اتمها
	در طبیعت یافت نمی شود	نوترینو مارپیچ

شکل ۳. ترجیح بین چپ و راست در طبیعت در سطوح مختلف نشان داده می شود. قسمت های تیره رنگ کایرالیته مسلط را نشان می دهد. اغلب صدف های دریایی مارپیچ راستگردند اما بعضی نمونه های چپگرد و جهش یافته نیز دیده می شود. گیاهان پیچنده نیز عمدتاً راستگردند باکتری های مارپیچ دارای انواع راستگرد و چپگرد می باشند. به طور عادی پروتئین و DNA به صورت مارپیچ های راستگرد دیده می شوند. انواع چپگرد نادرند و انواع تصویر آینه ای واقعی در طبیعت دیده نمی شوند. آمینواسید های راستگرد و چپگرد در سطوح مختلف انرژی در نتیجه نیروی هسته ای ضعیف وجود دارند، آنهایی که در موجودات زنده هستند تقریباً همه چپگردند. نیروی ضعیف همچنین بر شیوه حرکت الکترون ها به دور هسته اثر گذاشته و باعث می شود اتمها به طور کلی راستگرد شوند. ذره اولیه ای که به نام نوترینو شناخته شده است تنها به صورت چپگرد وجود دارد: جهت چرخش آن برخلاف جهت حرکتش می باشد.

می شوند مقادیر یکسان از انانتیومر های راستگرد و چپگرد تولید می گردد، مگر آنکه توجه زیادی مبذول شود تا عامل نامتقارن کننده ای طی سنتز وارد شود.

دلیل پایه ای برای این تقارن وجود دارد: واکنش های شیمیایی اساساً در نتیجه برهم کنش الکترومغناطیسی اتمها به وجود می آیند. نیروی الکترومغناطیس به طریقی عمل می کند که اگر فرایند خاصی صورت گیرد، تصویر آینه ای آن فرایند با احتمال یکسان به وقوع می پیوندد. هر نیرویی که به یک فرایند و تصویر آینه ای آن با احتمال یکسان کمک نماید، اصطلاحاً نگهدارنده تسادی خوانده می شود. به دلیل آنکه نیروی الکترومغناطیس تسادی را نگه می دارد، انتظار می رود که تعداد مساوی انانتیومر های L و D در جهان وجود داشته باشد. چرا چنین نیست؟ ما بعد از بررسی کایرالیته

را دربر می گیرد. تنها انانتیومر D قند در نوکلئیک اسیدها وجود دارد. DNA و RNA به طور عادی مارپیچ های راستگرد را به دلیل وجود انحصاری قندهای D (راستگرد) به وجود می آورند. تکرار مناسب نوکلئیک اسیدها به فعالیت پروتئین های بستگی دارد که از آمینواسید های L ساخته شده اند. و بدین ترتیب کایرالیته نسبی پروتئینها و نوکلئیک اسیدها در ارتباط نزدیک با یکدیگر می باشد. برتری عظیم آمینواسید های چپگرد L و قندهای راستگرد D در شیمی حیات بر همتهای تصاویر آینه ای آنها به دو دلیل ویژه است. اول آنکه بجز تفاوت های بسیار جزئی که بعداً بحث آن پیش خواهد آمد، خواص شیمیایی انانتیومر های L و D (چپگرد و راستگرد) اساساً دارای تقارن آینه ای می باشد. دوم آنکه وقتی مولکول های کایرال در آزمایشگاه از مواد اولیه ناکایرال ساخته

در مقیاس زیر هسته‌ای بدین پرسش باز خواهیم گشت.

چهار نیرو

تمام ذرات بنیادی شناخته شده از طریق چهار نیرو بر یکدیگر واکنش دارند: جاذبه، نیروی الکترومغناطیس (واکنشهای شیمیایی عادی را پدید می‌آورد)، نیروی هسته‌ای قوی (که هسته‌های اتمها را کنار هم نگه می‌دارد) و نیروی کمتر شناخته شده هسته‌ای ضعیف. تا سال ۱۹۵۷ تصور می‌شد که طبیعت در مقیاس ذرات بنیادی از لحاظ کایرالیته متقارن است و چهار نیرو نگهدارنده تساوی هستند. در آن سال کشف شد که نیروی هسته‌ای ضعیف تساوی را نگه نمی‌دارد.

همان گونه که از اسمش پیداست، نیروی ضعیف، نسبتاً نحیف است، حدود هزار مرتبه کم‌توانتر از نیروی مغناطیس و صدهزار مرتبه کم‌توانتر از نیروی هسته‌ای قوی. آشنا ترین اثری که تحت فرمان نیروی هسته‌ای ضعیف می‌باشد، تولید پرتو بتا در واپاشی مواد پرتوزاست. پرتو بتا در واقع الکترونهای پرتوان و فعال و دوقلوی ضدماده آنها پوزیترون می‌باشد. این ذرات چرخشی ذاتی دارند و بنابراین وقتی در امتداد و خلاف جهت محور چرخش خود حرکت کنند می‌توانند راستگرد یا چپگرد باشند، کشف حیرت‌انگیز و اکنون مشهور سال ۱۹۵۷ در مورد بهم خوردن تساوی به وسیله چین چونگ و همکارانش در دانشگاه کلمبیا منجر به شناخت این مسئله شد که ذرات بتا که از هسته مواد پرتوزا ساطع می‌شوند بی تفاوتی کایرال خاصی دارند. الکترونهای چپگرد بیش از راستگردها می‌باشند.

بررسیهای بیشتر در مورد واپاشی بتا منجر به کشف نوترینو و ضد نوترینو شد، ذرات خنثایی که در واپاشی بتا ساطع می‌شوند و همیشه با سرعت نور حرکت می‌کنند، همانند الکترون، ضدنوترینو که از ماده پرتوزا ساطع می‌شود دارای چرخش است، لیکن نه همانند الکترون، تنها در شکل راستگرد وجود دارد. کسی نمی‌داند چرا بی تقارنی کایرال در چنین سطح پایه‌ای وجود دارد. ضدماده پرتوزا مقدار زیادی پوزیترون (ضدالکترون) راستگرد ساطع می‌نماید و تنها مقدار کمی نوترینوی چپگرد. به نظر می‌رسد نوترینوی راستگرد ضدنوترینوی چپگرد در جهان وجود ندارد.

طی دهه بعد اعتقاد بر آن بود که عدم نگهداری تساوی محدود به واکنشهای شیمیایی می‌باشد، معلوم شد پدیده‌هایی مثل واکنش شیمیایی یا برهم کنش بین اتمها و نور که بستگی به نیروی الکترو مغناطیس دارند، تساوی را حفظ می‌نمایند. در اواخر دهه ۶۰ استفن واینبرگ (که اکنون در دانشگاه تگزاس در اوستین می‌باشد) و عبدالسلام (از مرکز بین‌المللی فیزیک نظری در تربیست) و شلدون گلاشو (از دانشگاه هاروارد)، نظریه‌ای را پرداختند که نیروی هسته‌ای ضعیف و الکترومغناطیس را به هم پیوند می‌داد (نگاه کنید به «نظریات واحد برهم کنش ذرات بنیادی» به وسیله استفن واینبرگ در *Scientific American*, July, 1974).

نظریه آنها یک نیروی «ضعیف برقی» را بین الکترونهای اتم و پروتون و نوترونها در هسته پیش‌بینی می‌کرد. وجود این نیرو که تساوی را نگه نمی‌دارد در دهه ۷۰ تأیید شد. به دلیل آنکه نیروی هسته‌ای ضعیف بین راست و چپ تمایز قائل است، اتمها

و مولکولهایی که قبلاً تصور می‌شد نا کایرال باشند می‌باید به طریقی کایرال باشند. به علاوه انا تیومرهایی مثل آمینو اسیدهای چپگرد I و راستگرد D می‌بایستی از لحاظ خواص فیزیکی مثلاً انرژی که بستگی به کایرالیته آنها دارد، متفاوت باشند.

اکنون آشکار شده است که جهان در تمام مقیاسها از ذرات بنیادی به بالا از لحاظ کایرالیته بی تقارن می‌باشد. این بی تقارنی چگونه به وجود می‌آید؟ آیا تقارنهای کایرال در یک سطح به سطوح دیگر وابسته‌اند یا اینکه مستقل از آنها می‌باشند. تلاش می‌کنیم تا آنجا که امکان دارد به این پرسشها پاسخ دهیم؛ از ذرات بنیادی شروع می‌کنیم.

کایرالیته در ذرات بنیادی

یک ذره بنیادی مثل الکترون یا پوزیترون در حالت سکون دارای تقارن کروی است و از این رو نا کایرال است. اما اگر یک ذره چرخنده نسبت به محور چرخشش در جهات مختلف حرکت نماید کایرال می‌شود. اگر در حرکت مانند پیچ راستگرد عمل کند گفته می‌شود راستگرد است و اگر مانند پیچ چپگرد عمل کند، چپگرد خوانده می‌شود.

بی تقارنی کایرال در سطح زیر اتمی اصولاً به عدم نگهداری تساوی مربوط می‌شود. طبق مدل استاندارد ذرات بنیادی پیشنهادی واینبرگ، عبدالسلام و گلاشو، نیروی برق ضعیف بین راست و چپ، از طریق جریانهای باردار ضعیف «و جریانهای خنثای ضعیف» تفاوت می‌گذارد. قدرت این جریانها که به اسم نیروی W و Z خوانده می‌شوند بین دوزره بنیادی به فاصله بین ذرات و بار آنها بستگی دارد.

در اینجا ما از اصطلاح بار در تشابه با الکتریسیته استفاده می‌کنیم. الکترون دارای بار منفی است و نیروی الکتریکی بین دو الکترون دفعی است. در مقابل بار ضعیف W برای یک الکترون چپگرد غیر صفر و برای راستگرد صفر می‌باشد. بنابراین الکترون راستگرد به طور ساده نیروی W را حس نمی‌کند و این ویژگی اساسی نیروی ضعیف است که در حال حاضر درک عمیقتری از آن وجود ندارد. یک نتیجه این عدم تقارن آن است که واپاشی هسته‌ای بتا که به وسیله نیروی W کنترل می‌شود عمدتاً الکترونهای چپگرد تولید می‌کند. در مورد نیروی Z الکترونهای چپگرد و راستگرد بار Z با علامت مخالف و تقریباً مقدار مساوی دارند. اختلاف در علامت باعث می‌شود الکترونهای راستگرد با نیروی Z جذب هسته شوند و چپگردها دفع گردند (این اظهارات در مورد اثرات بارهای W و Z بر الکترونهای کایرال دقیقاً زمانی صادق هستند که الکترونها دارای انرژی زیاد باشند و نزدیک سرعت نور حرکت کنند. با وجود این چنین مفاهیمی برای درک بی تقارنی کایرال در الکترونهای با انرژی کم مفید است).

در دنیای آینه‌ای، واپاشی بتا الکترونهای راستگرد به وجود می‌آورد و نیروی Z الکترونهای چپگرد را جذب هسته می‌کند. این فرایندها در جهان واقعی مشاهده نمی‌شود. این امر بیان دیگر این مطلب است که نیروی هسته‌ای ضعیف از لحاظ کایرالیته بی تقارن است و تساوی حفظ نمی‌شود.

در سطوح کایرالیته ی ماریچ ته نیز دیده باکتریهای د. به طور تگر دیده ای واقعی د و چپگرد ای ضعیف تقریباً همه کترونهابه طور کلی ساخته شده چرخش آن

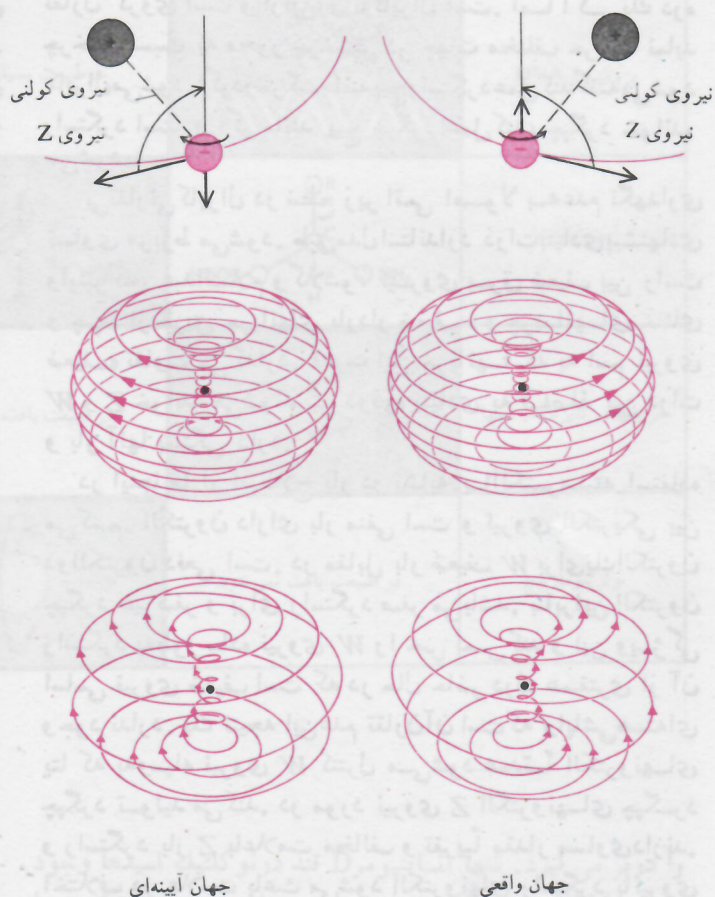
گرد تولید نامتقارن

شیمیایی می آیند. ایندخاصی ن به وقوع ن با احتمال ه می شود. می دارد، در جهان کایرالیته

اتمها و مولکولها

پیامد مهم نیروی ضعیف Z بین الکترونها و هستهها آن است که تمام اتمها کایرال می باشد. به دلیل وجود نیروی Z وقتی الکترونی نزدیک هسته است جهت حرکت آن، به طور جزئی بامحور چرخش همراستا می شود و آن را راستگرد می سازد (شکل ۴). این بدان معنی است که مدار الکترون که در فقدان نیروی Z دایره وار است، به صورت مارپیچی راستگرد در محدوده هسته در می آید. به دلیل آنکه برهم کنشی که باعث حرکت مارپیچی الکترون می شود تساوی را نگه نمی دارد، تصویر آینه ای اتم با حرکت مارپیچی چپگرد الکترون در طبیعت وجود ندارد.

باتوجه به قدرت بسیار پایین نیروی ضعیف، ممکن است حرکت مارپیچی غیر قابل اندازه گیری به نظر آید. مثلاً مدل استاندارد پیش بینی می کند که در بهترین شکل مناسب آزمایش، نوری که از



شکل ۴. اتمها تحت تأثیر نیروی ضعیف هسته ای Z کایرال می شوند. در گوشه راست بالا الکترونی با چرخش رو به بالا در مداری به دور هسته نشان داده شده است و تصویر آینه ای آن در گوشه سمت چپ. بدون نیروی Z مسیر حرکت الکترون شبیه به تصاویر وسط خواهد بود. هسته در مرکز جرم هر اتم می باشد. اگر تصویر آینه ای سرتو به شود، مسیرهای جدید الکترون می تواند بر مسیرهای اصلی الکترون منطبق شوند و بنابراین ناکایرال می باشند. در حضور نیروی Z جهت حرکت الکترون تلاش می کند با جهت چرخش آن یکی شود، نتیجه در سمت راست پایین صفحه نشان داده شده است. مسیرها اکنون کایرال اند الکترونها در امتداد مارپیچ راستگرد داخلی بالا رفته و در امتداد مارپیچ چپگرد بیرونی پایین می آیند. تصویر آینه ای اتم - پایین سمت چپ - در جهان واقعی وجود ندارد، به منظور وضوح اثر نیروی Z با ضریب 10^{-10} بزرگنمایی شده است.

درون يك گاز اتمی می گذرد باید به مقدار جزئی $5-10$ درجه چرخش داشته باشد، زاویه ای که دست در فاصله تقریبی هزار کیلومتر به وجود می آورد. در طی دهه گذشته تأیید تجربی کایرالیته اتمها حاصل شده است و از جمله مشاهدات مقدار گردش پیش بینی شده (نگاه کنید به «ترجیح اتمی بین چپ و راست» ماری آن بوچیات و لیونل پوتیه *Scientific American*, June 1984). در اینجا مثالی روشن ارائه می شود از اینکه بی تقارنی کایرال در سطح ذرات بنیادی باعث به وجود آمدن بی تقارنی در سطح اتمها می شود.

در مقیاسی کمی بالاتر نیروی Z باعث می شود مولکولی کایرال در حالت انرژی بالاتر یا پایینتر از انانتیومرش به وجود آید. این شکاف به طریقی ظریف پیش می آید. ابتدا فرض کنید که يك مولکول کایرال به صورت مارپیچ در نظر گرفته شود و تصور کنید که نیروی Z «حذف شود» اگر الکترونی با چرخش «بالا» از مارپیچ بالا برود راستگرد خواهد بود و اگر الکترون با چرخش «بالا» از مارپیچ پایین بیاید چپگرد خواهد بود. از آنجا که به لحاظ احتمالی تعداد مساوی الکترون در يك مولکول بالا و پایین می روند می توان انتظار داشت که به طور میانگین کایرالیته الکترون صفر باشد.

لیکن نیروهای الکترومغناطیسی نگهدارنده تساوی بین الکترونها و هستهها در مولکول تلاش می کنند محور مدار هر الکترون را برخلاف محور چرخش قرار دهند، این پدیده به نام جفت شدن چرخش-مدار نامیده می شود. برای مولکول مارپیچ راستگرد، جفت شدن چرخش - مدار در الکترون چرخش بالا به نفع مارپیچ سرازیری عمل می کند و برای الکترونهای چرخش پایین به نفع مارپیچ سربالایی. در هر مورد محور چرخش الکترون تمایل دارد که برخلاف جهت حرکت الکترون سمتگیری نماید طوری که در يك مولکول با مارپیچ راستگرد جفت شدن چرخش-مدار عمدتاً الکترونهای چپگرد تولید می کند. در مناطقی که مولکول مارپیچ چپگرد به وجود می آورد، الکترونهای راستگرد مسلط اند. در نتیجه مولکولها مناطقی با کایرالیته الکترونی متفاوت از خود نشان می دهند (شکل ۵).

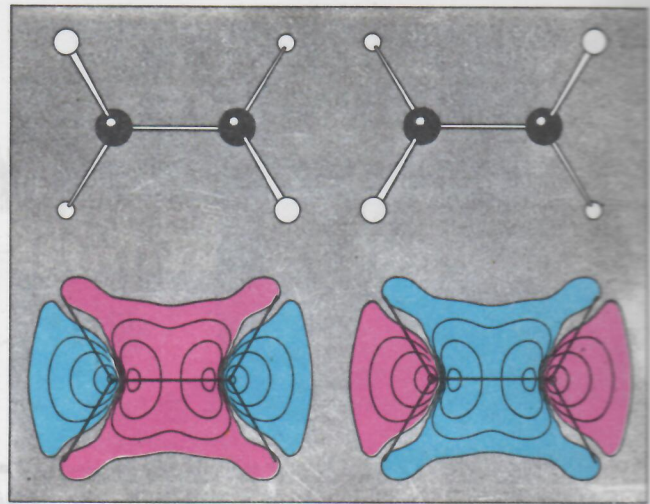
حال نیروی Z را وارد می کنیم. به دلیل آنکه نیروی Z با الکترونهای راستگرد و چپگرد به طرق متفاوت رفتار می کند، و جابه جایی انرژی در مولکولها به وجود می آورد: انرژی يك انانتیومر افزایش یافته و در دیگری کاهش می یابد. نیروی Z آنچنان کوچک است که تأثیر آن بر خواص شیمیایی مولکولها مورد بررسی قرار نگرفته است. هر چند نتیجه نظری جالبی توسط استفن ماسون و جرج ترانتر از کینگز کالج لندن به دست آمده است. ایشان بین سالهای ۱۹۸۳ و ۱۹۸۶ محاسبات مفصلی بر روی انرژی چند آمینواسید L و D صورت دادند، با در نظر گرفتن بی تقارنی نیروی Z . جابه جایی انرژی مورد انتظار بین انانتیومرها آشکار شد و با کمال تعجب در تمام موارد انانتیومر مسلط L دارای انرژی پایینتری بود.

اصول پایه مکانیک آماری حکم می کند که در هر موقعیت متعادل شکل انرژی پایینتر فراوانتر از شکل انرژی بالاتر باشد. ماسون و ترانتر نشان دادند که آمینواسیدهای L می باید در حدود يك در 10^{17} بیشتر از آمینواسیدهای D باشند. چنین اختلاف ناچیزی توضیح می دهد که چرا انانتیومرهای L و D در آزمایشگاه به مقدار مساوی

۱ درجه
کیلومتر
نی اتمها
ینی شده
چیات و
در اینجا
طرح ذرات
نمود.
ی کایرال
آید. این
مولکول
به نیروی
پیچ بالا
«بالا» از
احتمالی
می توان
اشد.
لکترونها
کترون را
فت شدن
امتگرده ،
سار پیچ
ن به نفع
ایل دارد
ی که در
ار عمدتاً
مار پیچ
در نتیجه
بود نشان

ی Z با
ی کند، و
انانتیومر
ان کوچک
رسی قرار
ماسون و
یشان بین
رژی چند
نی نیروی
شد وبا
، انرژی

ت متعادل
ن وترانتر
در ۱۵۱۷
ی توضیح
ار مساوی



شکل ۵. اتیلن پیچ خورده مولکول ساده کایرالی است که شامل دو اتم کربن و چهار اتم هیدروژن می باشد. C_6H_6 در تصاویر انانتیومرهای D و L در راست و چپ بالای تصویر نشان داده شده اند. در اتیلن پدیده ای به نام جفت شدن چرخش مدار وجود دارد که تلاش می کند چرخش الکترون را برخلاف گشتاور زاویه ای مداری آن قرار دهد و در نتیجه نواحی متفاوتی از کایرالیته الکترون به وجود آورد. تصاویر پایین بر مبنای محاسبات یکی از نویسندگان مقاله (هگستروم) و دانشجویش ملیندامونتگومری در دانشگاه ویک فورست می باشد که نواحی مورد نظر را از بالای خطی که دو کربن را به هم متصل می نماید نشان می دهد. قسمتهای قرمز نواحی می باشد که الکترونها راستگردند. قسمتهای روشن جایی است که آنها چپگردند. انعکاس آینه ای نواحی کایرالیته را وارونه می سازد - نیروی ضعیف Z به طریقی مخالف بر الکترونهای چپگرد و راستگرد اثر می کند. طوری که انعکاسهای آینه ای به طریقی موشکافانه متفاوت اند: انانتیومر L اتیلن انرژی کمتر از انانتیومر D دارد.

یافت می شوند. لیکن هنوز نمی توان تعجب نکرد که این تفاوت جزئی که به وسیله نیروی هسته ای ضعیف به وجود آمده است به طریقی با تسلط آمینواسیدهای L و قندهای D در ارتباط باشد.

تقارن کایرال در حیات

در مورد منشأ حیات دانسته ها آنچنان کم است که نمی توان در مورد علل آن با قطعیت سخن گفت. لیکن از زمان اولین آزمایشهای استانیلی میلر در دانشگاه شیکاگو در سال ۱۹۵۰ تا کنون، دانشمندان تصویر خوبی از اینکه چگونه مجموعه ای از مولکولهای زیستی برجسته در شرایط اولیه زمین به وجود آمده است ارائه داده اند. در جریان تکامل شیمیایی از اتم تاحیات، بی تقارنی کایرال مولکولهای زیستی می باید جایی به وجود آمده باشد. این مطلب سه پرسش مهم را پیش می آورد. چگونه مولکولهای زیستی با ترجیحی کایرال از واکنشهای شیمیایی که برای دو انانتیومر یکسان است به وجود آمده اند؟ آیا تسلط آمینواسیدهای L و قندهای D بر تصاویر آینه ای شان به طریقی با نیروهای هسته ای ضعیف در ارتباط است؟ آیا بی تقارنی کایرال پیش شرطی بود که بدون آن حیات نمی توانست به وجود آید یا آنکه بی تقارنی بعداً به وجود آمد به صورت پیامد تکامل زیست شناختی و نه تکامل شیمیایی؟ در ذیل بدین پرسشها به ترتیب جواب می دهیم.

اگرچه امری متناقض ممکن است به نظر برسد لیکن واکنشهای شیمیایی متقارن آینه ای می توانند مقادیر نامساوی آمینواسیدهای

L و D را از طریق پدیده ای که برهم زدن خود به خود تقارن نامیده می شود به وجود آورند. در این مورد، حالت متقارن زمانی است که تعداد اشکال L و D برابر باشد و حالت بی تقارن وقتی که یکی از اشکال بردیگری برتری داشته باشد. برهم زدن خود به خود تقارن مکانیسمی است که به وسیله آن یک سیستم به طور خود به خود از حالت تقارن به حالت بی تقارن سیر می کند.

برهم خوردن خود به خود تقارن تنها در شرایط فیزیکی خاصی صورت می گیرد. این عمل نمی تواند در سیستم بسته بر روی جریان انرژی و ماده صورت پذیرد. چنین سیستمی به سوی تعادل ترمودینامیکی پیش خواهد رفت. حالتی که در آن غلظت یک مولکول تنها به انرژی و آنتروپی آن وابسته است. به دلیل آنکه انرژیهای انانتیومرهای L و D برابرند (با چشم پوشی از اختلاف جزئی که به وسیله نیروی Z به وجود می آید) در این حالت تعداد انانتیومرهای L و D برابر خواهد بود و حالت تقارن کایرال به وجود خواهد آمد.

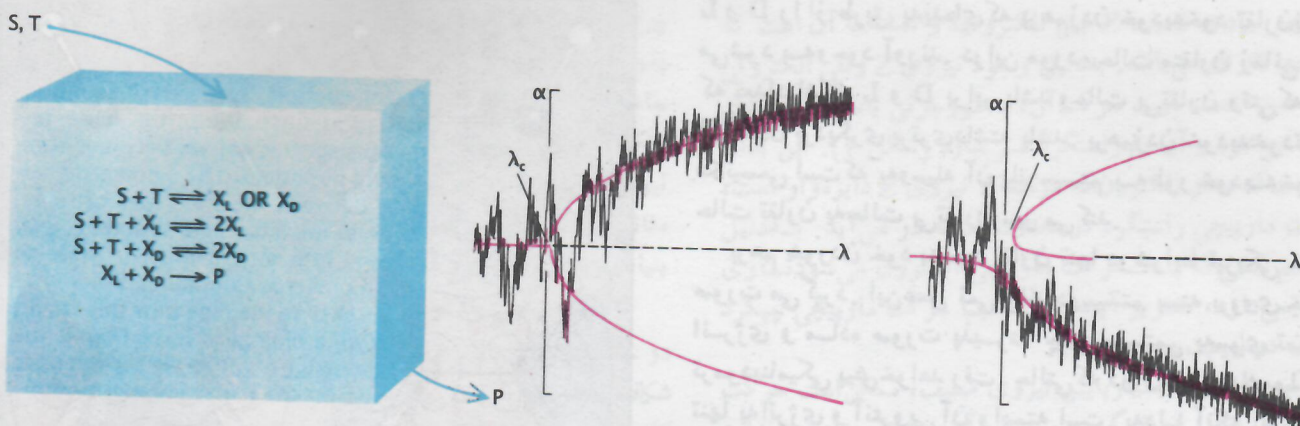
لیکن اگر سیستمی بر جریان انرژی و ماده باز باشد، دیگر تعادل ترمودینامیکی وجود نخواهد داشت. برهم خوردن خود به خود تقارن وارد عمل شده و می تواند سیستم را به سوی بی تقارنی کایرال بکشاند که در آن مقادیر انانتیومرها نابرابر است.

در سال ۱۹۵۳ سر فردریک چارلز فرانک از دانشگاه بریستول مدل ساده ای را برای نشان دادن برهم خوردن خود به خود تقارن در یک سیستم شیمیایی با دو نمونه مولکولی ارائه داد. مدل فرانک فرض می کند که هر نمونه قادر به خود همسازی است و اینکه وجود یکی رشد جمعیتی دیگری را کاهش خواهد داد. یعنی هر دو به رقابت می پردازند. میزان رشد خود همسازی برای نمونه ها برابر است و همچنین تأثیر یکی بر دیگری. با وجود این به مجرد آنکه یک نمونه به مقدار جزئی تعدادش بردیگری فزونی می یابد (مثلاً با یک نوسان تصادفی و آماری) نمونه با تعداد بیشتر، به سرعت مسلط می گردد. توازن تقارن بین دو نوع مولکول ناپایدار است و به طور خود به خود به سوی یک حالت بی تقارن که در آن یک نوع تسلط دارد تکامل می یابد.

تصور اینکه این عمل در سطح زیستی چگونه خواهد بود ساده است. حتی اگر تصویر آینه ای حیات آن گونه که می دانیم زمانی در زمین وجود داشته است، رقابت بین دو نوع منجر به از بین رفتن حیات آینه ای شده است. مدل فرانک نشان می دهد که این مطلب در مقیاس مولکولی نیز ممکن است، و بدین وسیله نشان می دهد که چگونه افزایش جزئی در آمینواسیدهای L و قندهای D می تواند استهلاک از آبگوشت اولیه ای که در آن هردو انانتیومر در اصل برابر بوده اند به وجود آمده باشد (شکل ۶).

دوباره نیروی ضعیف

حال به پرسش دوم بازمی گردیم. آیا امکان دارد که نیروی هسته ای ضعیف باعث تسلط آمینواسیدهای L و قندهای D شده باشد. از زمان کشف برهم خوردن تساوی تلاشهای زیادی صورت گرفته تا واپاشی بتا و پدیده های مربوطه را به صورت مکانیسمی که می توانسته منجر به افزایش یک انانتیومر شده باشد در آورد. فردریک وستر و تیلر و اولبریخت که در سال ۱۹۵۷ در دانشگاه ییل بودند زمانی



شکل ۶. خود کاتالیزی و برهم خوردن تقارن در يك مدل ساده شیمیایی نشان داده می شود. دو مولکول ناکایرال S و T به مخزن آبی بمپ می شوند (سمت چپ). آنها با هم ترکیب شده مولکول کایرال X را به دو شکل انانتیومر X_D یا X_L به وجود می آورد. X ممکن است دوباره S و T ترکیب شده X_D و X_L دومی را به وجود آورد. این خود-همتاسازی اصطلاحاً خود کاتالیزی نامیده می شود. X_D و X_L نیز ممکن است یکدیگر را با به وجود آوردن P از بین ببرند. اگر هیچ کدام از این واکنشها به نفع انانتیومر L یا D نباشد غلظت X_L و X_D بایستی یکسان بماند. لیکن معادلات سرعت واکنش نشان می دهد که توازن بین خود کاتالیزی و نابود سازی متقابل ناپایدار است. پارامتر بحرانی λ_c حاصل ضرب غلظتهای S و T است. وقتی λ از مقدار بحرانی λ_c بالاتر می رود، سیستم به سوی حالتی می رود که یا به نفع X_L می باشد یا X_D اگرچه این انتخاب تصادفی است. تقارن بین L و D به طور خود به خود بر هم می خورد. α اختلاف بین غلظتهای X_D و X_L مقیاسی از این تقارن است. فرانک موس از دانشگاه میسوری در سنت لوئیس با پیتروک لیتونک از دانشگاه لانکاستر این مدل را به صورت الکترونیکی شبیه سازی کردند. آنها دریافتند (شکل وسط) که با افزایش λ تقارن برهم خورده و X_D مسلط می شود، اگرچه تسلط X_L به همان اندازه نیز محتمل است. آنها همچنین شبیه سازی را تغییر دادند تا امتیاز جزئی به X_L بدهند. مشابه تأثیر نیروی Z (سمت راست). با افزایش λ سیستم تقریباً همیشه شاخه پایینی را دنبال می کرد. جایی که X_L مسلط است، شاخه بالایی، جایی که X_D مسلط است، یک نتیجه غیر محتمل شد. چنین مدلی می تواند تسلط آمینواسیدهای L را بر آمینواسیدهای D در طبیعت توضیح دهد.

شکل ۶. خود کاتالیزی و برهم خوردن تقارن در يك مدل ساده شیمیایی نشان داده می شود. دو مولکول ناکایرال S و T به مخزن آبی بمپ می شوند (سمت چپ). آنها با هم ترکیب شده مولکول کایرال X را به دو شکل انانتیومر X_D یا X_L به وجود می آورد. X ممکن است دوباره S و T ترکیب شده X_D و X_L دومی را به وجود آورد. این خود-همتاسازی اصطلاحاً خود کاتالیزی نامیده می شود. X_D و X_L نیز ممکن است یکدیگر را با به وجود آوردن P از بین ببرند. اگر هیچ کدام از این واکنشها به نفع انانتیومر L یا D نباشد غلظت X_L و X_D بایستی یکسان بماند. لیکن معادلات سرعت واکنش نشان می دهد که توازن بین خود کاتالیزی و نابود سازی متقابل ناپایدار است. پارامتر بحرانی λ_c حاصل ضرب غلظتهای S و T است. وقتی λ از مقدار بحرانی λ_c بالاتر می رود، سیستم به سوی حالتی می رود که یا به نفع X_L می باشد یا X_D اگرچه این انتخاب تصادفی است. تقارن بین L و D به طور خود به خود بر هم می خورد. α اختلاف بین غلظتهای X_D و X_L مقیاسی از این تقارن است. فرانک موس از دانشگاه میسوری در سنت لوئیس با پیتروک لیتونک از دانشگاه لانکاستر این مدل را به صورت الکترونیکی شبیه سازی کردند. آنها دریافتند (شکل وسط) که با افزایش λ تقارن برهم خورده و X_D مسلط می شود، اگرچه تسلط X_L به همان اندازه نیز محتمل است. آنها همچنین شبیه سازی را تغییر دادند تا امتیاز جزئی به X_L بدهند. مشابه تأثیر نیروی Z (سمت راست). با افزایش λ سیستم تقریباً همیشه شاخه پایینی را دنبال می کرد. جایی که X_L مسلط است، شاخه بالایی، جایی که X_D مسلط است، یک نتیجه غیر محتمل شد. چنین مدلی می تواند تسلط آمینواسیدهای L را بر آمینواسیدهای D در طبیعت توضیح دهد.

استخر آبی را تصور کنید که در آن دو انانتیومر بایکدیگر به رقابت می پردازند، همانند مدل فرانک. تأثیرهای تصادفی زیادی تلاش می کنند به نفع بقایای این یا آن وارد عمل شوند. این نوسانات زیادتر از تأثیر نیروی ضعیف می باشد، لیکن از آنجا که تصادفی از تمایل به حذف شدن دارند. اگر زمان مناسبی به آنها داده شود تأثیرهای جزئی سیستماتیک نیروی ضعیف بر کایرالیته تقارن شکر تأثیر کرده و آن را به سوی تسلط یک انانتیومر بر دیگری سوق خواهد داد.

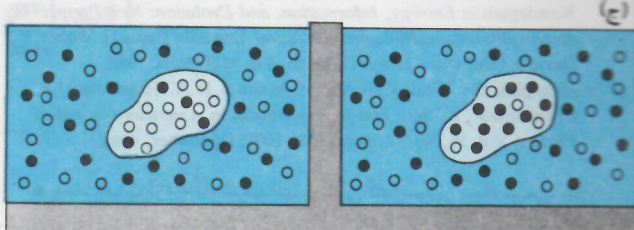
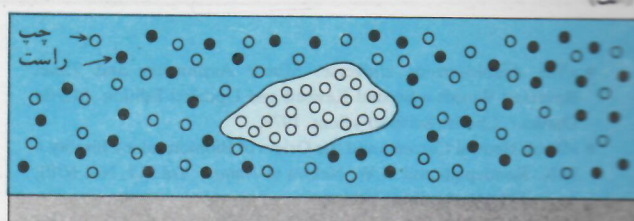
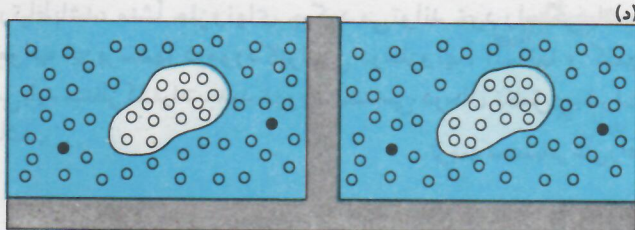
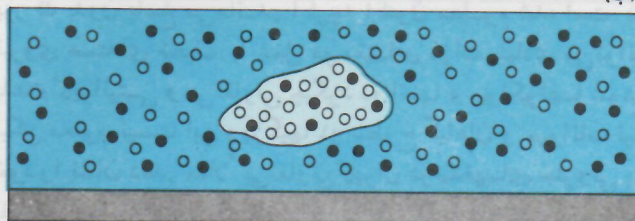
چه شرایطی لازم است تا میانگین نوفه عمل نماید و چه مقیاسی از زمان را در بر می گیرد؟ می بایست جریان کم و بیش ثابتی به استخر واکنشگرهای ناکایرال لازم برای تولید انانتیومرها وجود داشته باشد. بنابراین سیستم می باید باز بوده و به دور از حالت تعادل، تا وقوع برهم زدن خود به خود تقارن را ممکن سازد و واکنشگرها می بایست انانتیومرهای را تولید کنند که همتاساز بود و بایکدیگر رقابت نمایند و استخر می باید به اندازه کافی بزرگ بوده و به اندازه کافی مخلوط شود (در يك مساحت تقریبی ده کیلومتر مربع و عمق چندین متر) تا تأثیر خالص نوسانات تصادفی را حذف نماید. اگر این شرایط برقرار شود نیروی هسته ای ضعیف می بایست طی دوره ای از ۵۰ هزار تا ۱۰۰ هزار سال قادر باشد با قدرت کافی بر نتایج فرایند تقارن برهم زن تأثیر بگذارد. بعد از این زمان حداقل ۹۸ درصد احتمال دارد که تقریباً تمام مولکولهای آمینواسید - مثلاً - چپگرد شوند (با فرض آنکه نیروی ضعیف به نفع انانتیومر L باشد) در چنین شرایطی حیات بی تقارن کایرالی بر پایه آمینواسیدهای چپگرد می توانسته اند تکامل یابند.

مشاهده چنین فرایند شیمیایی آهسته ای در آزمایشگاه مشکل

که برهم خوردن مساوی کشف گردید، متوجه شدند که الکترونهای بتا به دلیل آنکه عمدتاً چپگردند، عمدتاً نیز تشعشع الکترومغناطیس چپگرد ساطع می کنند (تشعشعی که قطبیده بوده و به چپ می چرخد). وستر و اولبریخت اظهار داشتند که تشعشع چپگرد یک انانتیومر را ترجیحاً تجزیه می کند و تصویر آینه ای آن را به طور خالص زیاده تر نگاه می دارد. لیکن بی تقارنی مورد انتظار فرایند وستر و اولبریخت به شدت کم بود و می بایست به طور تجربی مورد بررسی قرار گیرد.

ذرات بتا همچنین می توانند مولکولهای کایرال را مستقیماً تجزیه کنند. یکی از ما (هگستروم) محاسبه کرده است که تفاوت جزئی در میزان چنین تجزیه ای برای انانتیومر L و D در حدود يك در ۱۰۱۱ می باشد. آزمایشهای آرتور ریچ و جیمز ون هوس و همکارانش در دانشگاه میشیگان نشان داده است که تفاوت در واقع کمتر از يك در ۱۰۹ می باشد.

لیکن نیروی Z همچنان کاندید دیگری است که می تواند بر میزان تولید آمینواسیدهای L و D تأثیر بگذارد. هر چند همان طور که گفته شد تأثیر نیروی Z آنچنان ضعیف است که تفاوت مورد نظر در حدود يك در ۱۰۱۲ می باشد. برای آنکه چنین بی تقارنی کوچکی تعداد برتر آمینواسیدهای L و D را به وجود آورده باشد مکانیسمهای تقویت کننده ای می بایست در کار بوده باشد. یکی از ما (کوندبودی) و جورج نلسون، که اکنون در آزمایشگاه ملی لوس آلاموس می باشد، نشان داده اند که به طور نظری چنین مکانیسمی در واقع در سیستمهای غیر متعادل شیمیایی وجود دارد. این مکانیسم را مهندسان ارتباطات به نام میانگین نوفه می نامند که برای استخراج يك صدا از میان زمینه ای پر سر و صدا می باشد.



به نفع حیات صورت گرفته باشد. بعضی اظهار داشته‌اند که حیات در بسیاری جاها همزمان هم به شکل آمینواسید L و هم D به وجود آمد (ج)، این اشکال با هم رقابت کرده و حیات بر مبنای آمینواسید D از بین رفت. دیدگاه دیگری که به وسیله مؤلفین مورد بررسی قرار گرفته آن است که بر هم خوردن خود به خودی تقارن همگنی کایرالی تقریبی را در بسیاری از نقاط که حیات در آن ظاهر گشت به وجود آورد (د)، نیروی ضعیف بر هم زنده‌تساوی برفرایند بر هم زنده‌تقارن به نفع آمینواسیدهای L تأثیر کرد.

شکل ۷. شیمی کایرال حیات ممکن است یادگاری از شرایط پیش‌زیستی باشد یا محصولی از فرایند حیات. یک نظریه برای پاور است که وقتی حیات در آبگوشت اولیه به وجود آمد اولین سلول تشکیل شده کلاً دارای آمینواسید L بود (الف). لیکن این مطلب شدیداً نامحتمل است که آبگوشت کاملاً از مقادیر یکسان آنانتیومر چپ و راست تشکیل شده باشد. امکان دیگر آن است که اولین سلول به طور تصادفی با مقداری جزئی از آمینواسید L تشکیل شده باشد (ب)، و انتخاب تکاملی بر مبنای یک آنانتیومر

و یکی از دلایل عمده‌ای که فکر می‌کنند بی‌تقارنی کایرال می‌بایست بعد از اولین سلول و نه قبل از آن به وجود آمده باشد.

طبق این دیدگاه اولین سلول که به صورت یک حادثه منحصر بفرد تکامل یافت دارای ویژگیهای قوی شیمی کایرال حیات پیشرفته نبود. «جد مشترک» اولیه تمام اشکال حیات به طور تصادفی با مقدار جزئی اضافی آمینواسید L و قند D به وجود آمد و بنابراین مقداری جزئی بی‌تقارنی کایرال در بر داشت. پروتئینهای ساخته شده از یک آنانتیومر تنها کاتالیزورهای بهتری می‌باشند و نوکلئیک اسیدهای ساخته شده از یک آنانتیومر پایدارتر بوده و پروتئینهای L به‌طریقی مؤثرتر با نوکلئیک اسیدهای D واکنش دارند. بنابراین در محیطی رقابتی تصفیه تکاملی نسلهای پشت سر هم به تدریج حیات را با پروتئینهای L و نوکلئیک اسیدهای D به وجود آورد، لیکن هنوز مسئله تصور شکل حیاتی زنده ماندنی - جد مشترک اولیه - که از زیست بسپارهای به وجود آمده که تقریباً دارای تعداد مساوی آنانتیومر L و D باشند، باقی می‌ماند. برای حل این مشکل بعضی از پژوهشگران اظهار نموده‌اند که اولین سلول به‌طریقی تصادفی پروتئینهایی داشته است که به‌طور کامل یا تقریباً کامل از آمینواسیدهای L تشکیل شده بودند. لیکن با هر تخمین قابل قبولی احتمال وقوع این مسئله بسیار کم است (شکل ۷).

بعضی امکان سومی را پیشنهاد نموده‌اند. اینکه حضور حیات یک حادثه منحصر بفرد نبوده است. برهم خوردن تقارن در بسیاری نقاط به‌طور تصادفی صورت گرفت بدون آنکه تحت تأثیر نیروی ضعیف بی‌تقارنی کایرال باشد. در جاهایی که آمینواسیدهای D مسلط بودند «حیات D» پدید آمد، در جاهایی که آمینواسیدهای L مسلط بود «حیات L». دو شکل حیات با هم به رقابت پرداختند و حیات D بدون اثری از خود ناپدید شد.

آشکار است که پرسشهای کلیدی در مورد منشأ بی‌تقارنی کایرال

است. شبیه‌ساز الکترونیکی خوبی به وسیله فرانک موس از دانشگاه میسوری و پیت مک‌لینتوک از دانشگاه لانکستر، مکانیسم پیش‌بینی شده را تأیید کرده است، اما چنین مکانیسمی هنوز در میستم شیمیایی واقعی مشاهده نشده است.

قبل از حیات یا بعد از آن

الگوهای چندی را ارائه دادیم تا نشان دهیم که چگونه بی‌تقارنی کایرال ممکن است باعث به وجود آمدن زیست مولکولها شده باشد. آخرین پرسش مهم آن است که آیا این تقارن قبل از ظهور حیات اولیه اولین سلول به وجود آمد یا بعد از آن. بر مبنای دانش ساختار و عملکرد زیست بسپارها درک این مطلب مشکل است که چگونه یک پروتئین یا نوکلئیک اسید که شامل تکپارهای L و D باشد بتواند چنین کاری را انجام دهد. آزمایشها نشان داده‌اند که رشته‌های آمینواسید که شامل اسیدهای L و D می‌باشند به‌طور دقیق نمی‌توانند مارپیچ شکل α را که برای عملکرد کاتالیزوری پروتئین ضروری است به وجود آورند. بدون وجود همسانی کایرالیته (وضعیتی که در آن تمام آمینو اسیدها دارای یک نوع چرخش هستند) فعالیت کاتالیزوری پروتئینها به شدت ضعیف خواهد بود. مشکل است بتوان تصور نمود که ساختار پیچیده حیات در چنین شرایطی تکامل یافته باشد. همین ملاحظات در مورد نوکلئیک اسیدها صدق می‌کند، بنابراین به نظر می‌رسد که همسانی کایرالیته در زیست مولکولها قبل از حیات به وجود آمده باشد.

در تأیید این دیدگاه مدل‌های خود کاتالیزی و برهم خوردن تقارن مثل مکانیسم کوندپودی-نلسون که قبلاً بدان اشاره شد پیشنهاد شده است. لیکن هنوز هیچ کدام قادر نبوده‌اند یک دسته ترکیبات پیش‌زیستی خاصی را مشخص کنند که چنین مدل‌هایی بدان نیاز دارند. بعضی از پژوهشگران این را یک مشکل اساسی می‌دانند

- «The Ambidextrous Universe: Mirror Asymmetry and Time-Reversed Worlds.» Second Revised and Updated Edition. Martin Gardner. Charles Scribner's Sons, 1979.
- «Weak Neutral Currents and the Origin of Biomolecular Chirality.» D.K. Kondepudi and G.W. Nelson in *Nature*, Vol.314, No. 6010, pages 438-441; April 14, 1985.
- «Parity Violation and the Origin of Biomolecular Chirality.» Dilip Kondepudi in *Entropy, Information, and Evolution: New Perspectives on physical and Biological Evolution*. Edited by Bruce H. Weber, David J. Depew and James D. Smith. The MIT Press, 1988.
- «Mapping the Weak Chirality of Atoms.» R.A. Hegstrom, J.P. Chamberlain, K. Seto and R. G. Watson in *American Journal of Physics*, Vol. 56, No. 12, pages 1086-1092; December, 1988.

• منشأ حیات از دیدگاه شیمی‌دانها. ویتالی گلدانسکی. مجله شیمی، سال دوم، شماره اول، ص ۱۳

در حیات همانند پرسشهای راجع به منشأ بی‌تقارنی کایرال در سطح بزرگ بدون پاسخ می‌ماند. اگرچه اکنون معلوم شده است که نیروی هسته‌ای ضعیف با عمل در مقیاس ذرات بنیادی می‌تواند باعث کایرالیته و بی‌تقارنی چپگرد در اتمها و مولکولها شود. لیکن معلوم نیست این ویژگیها در سطوح گیاهان و حیوانات نیز خود را نشان دهد. مثلاً بی‌تقارنی کایرال در صدفهای حلزونی به نظر نمی‌رسد به هیچ وجه با بی‌تقارنی DNA یا پروتئین آنها در ارتباط باشد، منشأ حلزونهای چپگرد می‌تواند خود را متغیر داشته باشد. جواب این پرسشها در مورد کایرالیته در حلزونها، انسانها و کلمها می‌باید منتظر کشفیات جدید در زیست‌شناسی در حال تکامل و پیشرفت باشد.

• The Handedness of the Universe
Roger A. Hegstrom and Dilip K. Kondepudi
Scientific American, January 1990

مرکز نشر دانشگاهی چاپ جدید کتابهای زیر را منتشر کرده است

